

Introducción a los Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

Un enfoque didáctico para las Telecomunicaciones

Autor: Msc. Henry Romero R.

Dedicatoria

*A mi Hijo David eres el catalizador que me lleva a actuar
A mi esposa Julysa, eres mi vida*

Índice

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1	8
Introducción a las Comunicaciones.....	8
ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES.....	8
Fuente.....	8
Transmisor	9
Canal de comunicaciones.....	9
Ruido/interferencias	9
Receptor	9
Destinatario	9
MODOS DE TRANSMISIÓN	10
SEÑALES	11
Parámetros de una señal.....	11
ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	15
Distribución del Espectro Electromagnético	16
EL RUIDO.....	¡Error! Marcador no definido.
Clasificación de los ruidos	¡Error! Marcador no definido.
Relación Señal a Ruido (S/R).....	¡Error! Marcador no definido.
Factor de Ruido e Índice de ruido o cifra de ruido.	¡Error! Marcador no definido.
TEORÍA DE INFORMACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
Ley de Hartley	¡Error! Marcador no definido.
Capacidad de Información.....	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
Sistemas de comunicaciones en banda base	¡Error! Marcador no definido.
Sistemas de comunicaciones en banda pasante.....	¡Error! Marcador no definido.
TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO.....	¡Error! Marcador no definido.
Multicanalización por División de Tiempo (TDM).....	¡Error! Marcador no definido.
Multicanalización por División de Frecuencia (FDM)	¡Error! Marcador no definido.
Multicanalización por División de Código (CDM).....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 2	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Modulaciones Analógicas	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN LINEAL.....	¡Error! Marcador no definido.
Modulación en Amplitud de Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida (DSB-SC)	¡Error!
Marcador no definido.	
Demodulación para señales DSB-SC.	¡Error! Marcador no definido.
Modulación en Amplitud de Doble Banda Lateral con Gran Portadora (DSB-LC).	¡Error!
Marcador no definido.	
Distribución de potencia en una señal de DSB-LC.....	¡Error! Marcador no definido.
Demodulación de señales de DSB-LC	¡Error! Marcador no definido.
Modulación SSB (Single Side Band).....	¡Error! Marcador no definido.
Demodulación de S.S.B.....	¡Error! Marcador no definido.
Banda lateral vestigial (BLV).....	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN ANGULAR.....	¡Error! Marcador no definido.
Concepto de frecuencia instantánea.....	¡Error! Marcador no definido.

Modulación de Fase y Modulación de Frecuencia.....	¡Error! Marcador no definido.
Análisis de una señal modulada en ángulo con un tono sinusoidal.....	¡Error! Marcador no definido.
Modulación de Frecuencia de Banda Angosta (NBFM)	¡Error! Marcador no definido.
Criterio para definir el ancho de banda.	¡Error! Marcador no definido.
Potencia de la señal modulada en ángulo.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 3	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Técnicas de Modulación de Pulsos y PCM	¡Error! Marcador no definido.
TEOREMA DE MUESTREO.....	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN DE AMPLITUD DE PULSO (PAM)	¡Error! Marcador no definido.
PAM de Muestreo Natural	¡Error! Marcador no definido.
PAM de Muestreo Instantáneo o de Cresta Plana.....	¡Error! Marcador no definido.
Generación de las señales PAM.....	¡Error! Marcador no definido.
Demodulación de una señal PAM.....	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PWM)	¡Error! Marcador no definido.
Generación de las señales PWM.....	¡Error! Marcador no definido.
Demodulación de una señal con Modulación de Ancho de Pulso (PWM) ..	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN DE POSICIÓN DE PULSO (PPM).....	¡Error! Marcador no definido.
Generación de las señales PPM.....	¡Error! Marcador no definido.
Demodulación de una señal con Modulación de Posición de Pulso.....	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN DELTA	¡Error! Marcador no definido.
MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSO: PCM.....	¡Error! Marcador no definido.
Proceso de Cuantización y Codificación	¡Error! Marcador no definido.
Ventajas de los sistemas PCM	¡Error! Marcador no definido.
Ancho de Banda de PCM	¡Error! Marcador no definido.
La S/N en PCM	¡Error! Marcador no definido.
Proceso de Cuantización no Uniforme	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 4	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Modulación Digital	¡Error! Marcador no definido.
SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DIGITAL.....	¡Error! Marcador no definido.
COCIENTE Eb/No.....	¡Error! Marcador no definido.
bps Y BAUDIO	¡Error! Marcador no definido.
TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL.....	¡Error! Marcador no definido.
Técnicas de Modulación UNI-BIT:	¡Error! Marcador no definido.
Modulación por Conmutación de Amplitud (ASK).....	¡Error! Marcador no definido.
Modulación por Conmutación de Frecuencia (FSK)	¡Error! Marcador no definido.
Modulación por Conmutación de Fase (PSK).....	¡Error! Marcador no definido.
Técnicas de Modulación Multi-Bit:	¡Error! Marcador no definido.
Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)	¡Error! Marcador no definido.
Modulación 8-PSK.....	¡Error! Marcador no definido.
Modulación de Amplitud en Cuadratura 8-QAM	¡Error! Marcador no definido.
Modulación de Amplitud en Cuadratura 16-QAM	¡Error! Marcador no definido.
EFICIENCIA DEL ANCHO DE BANDA EN LAS MODULACIONES DIGITALES	¡Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

APÉNDICE 1..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Ejercicios Resueltos ¡Error! Marcador no definido.

APÉNDICE 2..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Ejercicios Propuestos..... ¡Error! Marcador no definido.

APÉNDICE 3..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Simulaciones..... ¡Error! Marcador no definido.

APÉNDICE 4..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

El Decibel ¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones electrónicas han evolucionado a lo largo del tiempo, desde los más sencillos, como la clave Morse, hasta complejos sistemas satelitales. Este crecimiento llevó a desarrollar distintos métodos para establecer comunicación y formas de llevar información de un punto a otro, desde el emisor hasta su destino.

Para analizar y comprender cómo funcionan las distintas tecnologías actuales, cómo es capaz la información de viajar de un punto a otro en cuestión de segundos, es preciso estudiar las técnicas de modulación sobre las que ha crecido toda esta revolución comunicacional, llevando a los sistemas de comunicaciones a ser el sector de mayor crecimiento tecnológico y económico en los últimos años.

En las páginas siguientes, se propone un recorrido por el extenso mundo de las comunicaciones, pretendiendo ser, una suma de conocimiento para estudiantes y docentes. Su propósito es constituirse como un documento pedagógico, con carácter general y universal, para el desarrollo de conocimientos futuros, los cuales pueden ser profundizados en otros libros de texto.

Este libro tiene por objetivo ser una introducción para los sistemas de comunicaciones electrónicas. Comienza con una introducción a los sistemas de comunicaciones, explicando los términos más importantes, luego se explican las técnicas de acceso al medio, para establecer un orden coherente del pensamiento y entender el uso de las modulaciones analógicas. Luego aborda a las técnicas de modulación de pulso y los sistemas de PCM para finalizar con una explicación sobre las técnicas de modulación digital.

Se presenta como un proceso investigativo, de carácter documental, que incluye la inserción minuciosa de las ecuaciones, las formas de onda en el dominio de tiempo

y frecuencia de las distintas modulaciones y demodulaciones de los sistemas de comunicación.

Constituye para los estudiantes de pregrado y post grado una guía práctica y secuencial, contentiva de teoría básica necesaria para comenzar y profundizar sus estudios dentro de esta área.

Este trabajo, al igual que prácticamente cualquier libro de texto no está completo, ni pretenderlo estarlo, sería imposible. Pero si es una referencia que podría guiar hacia otros textos específicos, según el caso y tema que se trate.

Como aporte interesante se presentan los apéndices de problemas resueltos y propuestos. Apéndices que han incluido problemas sencillos pero didácticos, que conducen más a la reflexión que la aclaratoria.

Se incluyen varios apéndices. El primero con 13 problemas resueltos, el segundo con 41 problemas propuestos, organizados por temas según el desarrollo del texto. Se ha incluido un apéndice para explicar al decibel, su origen y uso, ya que es un elemento de uso común e importante para las especificaciones técnicas de los elementos de un sistema de comunicación.

Introducción a las Comunicaciones

En el presente capítulo se realiza un estudio de los términos, teoremas y ecuaciones básicas que se manejan durante un curso de Sistemas de Comunicaciones, abordando conceptos tales como elementos de un sistema de comunicaciones, modos de transmisión, señales, el ruido, teoría de información, capacidad del canal, modulación y codificación de la información.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES

Un sistema de comunicaciones puede definirse como aquel que usa señales para la transmisión de un mensaje desde una fuente hasta un destino. Un sistema de comunicación, en forma general, está constituido por los elementos básicos mostrados en la Figura 1:

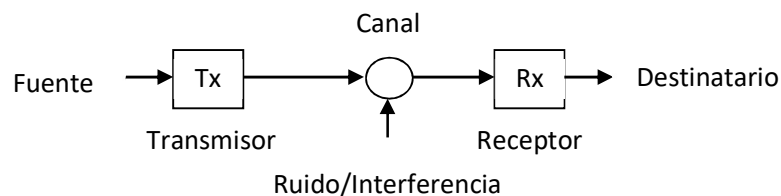


Figura 1. Modelo de un sistema de Comunicaciones

Fuente

Es la que origina el mensaje, la información que originalmente se desea transmitir, como por ejemplo; la voz humana, una imagen de televisión, un mensaje de texto o simplemente datos.

Transmisor

Es un dispositivo que convierte la señal de banda base en otra señal, con características óptimas para ser enviadas por el canal de comunicaciones que se va a utilizar para transmitir la información que está generando la fuente.

Canal de comunicaciones

Es por donde viaja la información desde el transmisor, hasta el receptor, este pueden ser un alambre, un cable coaxial, una guía de ondas, fibra óptica, un enlace de radio, entre otros medios existentes.

Ruido/interferencias

Son agentes externos al sistema, que añaden o modifican la información que se está transmitiendo. Por lo general el ruido se considera como un agente de perturbación. También puede definirse como toda componente de tensión o intensidad indeseada que se superpone con la componente de señal que se procesa o que interfiere con el proceso de medida.

Receptor

Es un dispositivo que procesa la señal entregada por el canal y recupera la señal original producida por la fuente, intentando eliminar la interferencia o ruido introducido.

Destinatario

Es la unidad a la que se desea entregar la información que la fuente ha generado para ser transmitida y debe recibir la información de la manera más fidedigna con respecto a la generada por la fuente.

MODOS DE TRANSMISIÓN

La forma como se intercambia información entre emisor y receptor da como resultado tres formas generales de transmitir la información. Estas son: Simplex, Half-duplex y Full-dúplex.

En el modo de transmisión simplex (SX), la transmisión solo puede ocurrir en un único sentido. Este sistema comprende un transmisor y un receptor sin que se pueda intercambiar estos roles. Es decir, la comunicación es unidireccional, como lo muestran la figura 2, en la que se ejemplifica este modo de comunicación y la flecha en una sola dirección indica la comunicación unidireccional.

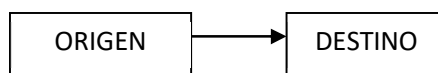


Figura 2. Comunicación SX

En el modo de transmisión Half-duplex (HDX), las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones solo que no simultáneamente se conoce como una transmisión Half-duplex. Como se muestra en la figura 3, las flechas en ambas direcciones así lo representan.

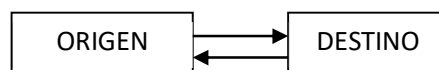


Figura 3. Comunicación HDX

En el modo de transmisión full-dúplex (FDX), la transmisión permite el proceso de intercambio de información en ambos sentidos y simultáneamente entre el transmisor y el receptor. En la figura 4 se muestran el diagrama de este modo de transmisión, se representa gráficamente con la línea con puntas de flecha en ambos extremos.

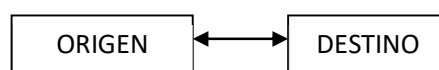


Figura 4. Comunicación FDX

SEÑALES

Las señales pueden ser definidas como las respuestas de un sistema ante un estímulo, como es ejemplificado en la figura 5, en la cual se ve un sistema que recibe un estímulo y genera una respuesta a la cual se puede llamar señal.

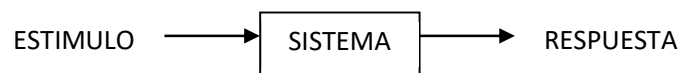


Figura 5. Relación Estimulo-Respuesta

También una señal puede ser considerada como una manifestación de energía, ya sean impulsos eléctricos u ondas electromagnéticas.

Parámetros de una señal

Los parámetros son elementos que caracterizan una señal en particular. En el caso de las ondas eléctricas y las ondas electromagnéticas, los parámetros de la señal son los indicados a continuación:

Amplitud

En física, la amplitud de una señal electromagnética es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasi periódicamente en el tiempo. Es la distancia máxima entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio, como lo muestra la figura 6.

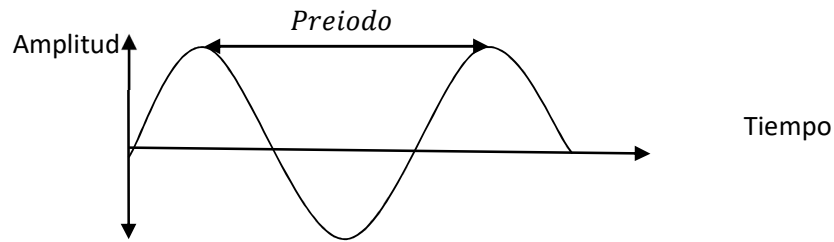


Figura 6 – Parámetros de una señal, amplitud y período.

Período

Es el mínimo lapso que separa dos instantes de una señal que se encuentran exactamente en el mismo estado (mismas posiciones, mismas velocidades, mismas amplitudes). Así, el período de oscilación de una onda es el tiempo empleado por la misma en completar una longitud de onda. En términos breves, es el tiempo que dura un ciclo de la onda en volver a comenzar.

Por ejemplo, en una onda, el período es el tiempo transcurrido entre dos crestas o valles sucesivos. El período (T) es inverso a la frecuencia (f). Como lo define la ecuación 1.

$$T = \frac{1}{\text{frecuencia}} = \frac{2\pi}{\text{Frecuencia Angular}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Frecuencia

Frecuencia es una magnitud que mide el número de ciclos por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. Para calcular la frecuencia de un suceso, se contabilizan un número de ciclos, teniendo en cuenta un intervalo temporal, calculándose según la ecuación 2

$$f = \frac{\text{Numero deciclos}}{\text{Lapso de Tiempo}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Cuando se determina la duración de un ciclo, el paso de tiempo se denomina período de manera que $f = 1/T$

Longitud de Onda

La longitud de onda describe cuán larga es la misma con respecto a la velocidad de la luz. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos se denomina longitud de onda. Se encuentra medida en metros, según la ecuación 3.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ecuación 3

donde c, es la velocidad de la luz (en m/s) y f la frecuencia de la señal medida en Hertz.

Desde un punto de vista grafico, se puede observar la figura 7 donde se observa que la longitud de onda es la distancia entre dos crestas consecutivas o dos valles consecutivos:

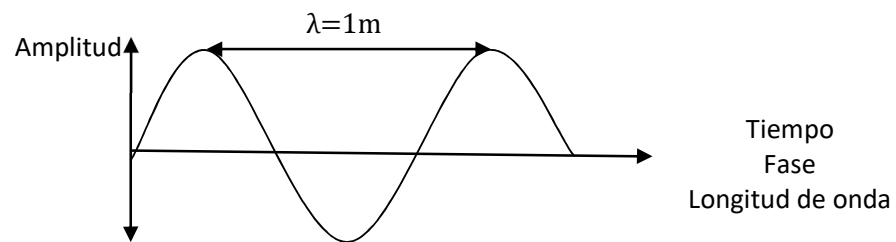


Figura 7. Longitud de Onda

Velocidad de propagación

Todas las ondas tienen una velocidad de propagación finita, en cuyo valor influyen las fuerzas recuperadoras elásticas del medio y determinados factores de la masa del medio: la densidad lineal en las cuerdas; la profundidad del agua bajo la superficie, o el coeficiente adiabático, la masa molecular y la temperatura en el caso

de la propagación del sonido en un gas. En todos los casos la velocidad es constante y se muestra en la ecuación 4:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde Δx es la distancia que la onda recorre en un tiempo Δt . Para los efectos de una señal periódica Δx se toma para cada ciclo en el período T, por lo que la ecuación resultante es:

$$v_p = \frac{\Delta x}{T} \quad \text{Ecuación 5}$$

Velocidad angular

La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega ω . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s). Aunque se la define para el movimiento de rotación del sólido rígido, también se la emplea en la cinemática de la partícula o punto material, especialmente cuando esta se mueve sobre una trayectoria cerrada. En el caso de las señales periódicas, se considera que un ciclo corresponde a 2π radianes.

Fase de una Onda

La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente. La fase es la fracción del período transcurrido desde el instante correspondiente al estado tomado como referencia.

Espectro de una Señal

Las señales en el mundo de las comunicaciones, tiene un comportamiento que puede ser descritos en ecuaciones matemáticas; usualmente, estas ecuaciones se desarrollan en el dominio del tiempo, donde la variable independiente es “t” y esta representa al tiempo.

Estas mismas señales también tienen un comportamiento y ecuaciones en el dominio de la frecuencia, donde la variable independiente es “f”, que a su vez, representa a la frecuencia. El análisis espectral está basado en el uso de las Series y Transformadas de Fourier, estudiadas en materias previas. El estudio de estas señales en el dominio de la frecuencia, representa al espectro de la señal.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético es la ubicación de todos los rangos de frecuencias de las diferentes señales, en un mismo sistema de referencia. En este caso, en el dominio de la frecuencia. Este puede subdividirse según su uso, característica o efecto, como lo muestra la figura 8

Frecuencia (Hz)	$30,0 \times 10^{18} \text{ Hz}$	$30,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$	$1,5 \times 10^{15} \text{ Hz}$	$384 \times 10^{12} \text{ Hz}$	$120 \times 10^{12} \text{ Hz}$	$300 \times 10^9 \text{ Hz}$	$3 \times 10^8 \text{ Hz}$	$300 \times 10^6 \text{ Hz}$
Nombre de la Banda	Rayos gamma	Rayos X	Ultravioleta	Espectro Visible	Infrarrojo	Infrarrojo Térmico	Microondas	Onda de radio

Figura 8 – Usos del espectro electromagnético

Se puede decir también que el espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar.

Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios o analizadores de espectro que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

Distribución del Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es muy amplio, pero, puede ser dividido en bandas de radio, para de esta manera facilitar su uso y su estudio, esta distribución se puede observarla en la tabla 1. Se puede observar que cada banda se encuentra dividida por un rango de frecuencia, y cada una de ellas es etiquetada por el acrónimo de su respectivo nombre en inglés.

Tabla 1. Bandas de Radio correspondientes al Espectro Radioeléctrico

Nombre de la banda	Frecuencias	Longitudes de onda
Banda VLF (Very Low Frequencies – Frecuencias Muy Bajas)	3 – 30 kHz	100 000 – 10 000 m
Banda LF (Low Frequencies – Frecuencias Bajas)	30 – 300 kHz	10 000 – 1 000 m
Banda MF (Medium Frequencies – Frecuencias Medias)	300 – 3 000 kHz	1 000 – 100 m
Banda HF (High Frequencies – Frecuencias Altas)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Banda VHF (Very High Frequencies – Frecuencias Muy Altas)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Banda UHF (Ultra High Frequencies – Frecuencias Ultra Altas)	300 – 3 000 MHz	1 m – 10 cm
Banda SHF (Super High Frequencies – Frecuencias Super Altas)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
Banda EHF (Extremely High Frequencies – Frecuencias Extremadamente Altas)	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

Fuente: Elaboración Propia